

Rádióaktív foszforral végzett újabb kutatások eredménye*

G. MICHAEL

*Friedrich Schiller Egyetem Mezőgazdasági Kémiai Tanszéke,
Jena (Német Demokratikus Köztársaság)*

A rádióaktív foszfor segítségével jól megkülönböztethető a talajból származó foszfor a trágyából eredőtől, megállapítható tehát, hogy mennyi P-t vett fel a növény a talajból, mennyit a trágyából és így kiszámítható a trágyák kihasználásának mértéke.

Mintegy 3—4 év előtt a szuperfoszfát szemcsézése volt a központi kérdés, mely már szóba került a háború előtt is és jelenleg újból felvetődött, elsősorban a Szovjetunióban elért jó eredmények kapcsán. Ilyen irányú vizsgálataink a háború előtt és azóta is igen változó eredményekkel jártak. A szórva adott por alakú, vagy szemcsézett szuperfoszfát hatásában a legtöbb talajféleségen nem mutatkozott határozott különbség. A szemcsézett szuperfoszfát egyes esetekben nagyobb termést eredményezett, mint a por alakú, sok esetben azonban rosszabbul hatott amannál.

Kísérleti rész

A szemcsés szuperfoszfát PO_4 ionjainak diffúziója különböző talajokban

Az 1. táblázat egy tenyészedénykísérlet néhány adatát tartalmazza. A kísérlethez használt tarka homokkővön képződött talaj laza szerkezetű, gyengén savanyú és foszforsavban szegény volt. E talajon jobbnak bizonyult a szemcsés, mint a por alakú szuperfoszfát; kihasználása a növényzet által 26%, illetve 22% volt. A kísérletet P^{32} -vel jelzett szuperfoszfáttal végeztük. Így megállapítható volt, hogy a növény P-tartalmának műtrágyából származó törtrésze a szemcsézett szuperfoszfát esetén nagyobb volt (40%), mint a por alakú szuperfoszfát használatakor (32%).

Ha azonban a P-trágyát nem kevertük bele a talaj egész tömegébe, hanem csak annak felső rétegébe — eloszlása tehát nem volt egyenletes, hanem fészkes, illetőleg szigetszerű, s így, mint a gyakorlatban a sávós trágyázási mód esetében, közelebb került a növények gyökereihez — akkor a szemcsés szuperfoszfát elvesztette fölényét a poralakúval szemben, sőt az utóbbinak kihasználása nagyobb mértékű volt (33%), mint a szemcsésé (22%). A trágya elhelyezésének módja tehát sok esetben lényegesebb tényező, mint a szemcsés, vagy porszerű állapot. A gyakorlat számára tehát azt javasoljuk, hogy szórják ki a szuperfoszfátot a káliummal együtt a szántás előtt és együttesen szántásuk alá mindkettőt. Így is kialakul egy fészkeszerű eloszlás a talajban, ami megvédi a műtrágyákat a lekötdéstől és előmozdítja kihasználásukat.

Ha a szemcsézett műtrágyát szórva adjuk, akkor a szemcsék ne legyenek túl nagyok, mert ez hátrányokkal jár, nyilván annak következtében, hogy a szemcsék

* Az 1958. XI. 18-án a MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézetben Budapesten tartott előadás szövege.

igen egyenlőtlenül oszlanak el a talajban, a gyökerek tehát csak későn érik el azokat. Ez a körülmény nem biztosítja az egyenletes tápanyagellátást. Nézetünk szerint helyes tehát, ha a gyárak a jobb kiszórhatóság érdekében szemcsézik a műtrágyákat, márcsak műszaki okokból is. A szemcsék azonban lehetőleg minél apróbbak legyenek, legfeljebb 3 mm átmérőjűek. Ezáltal érvényesülnek a szemcsésítés előnyei a túl nagyméretű szemcsék azon hátrányai nélkül, hogy kis adagok kiszórásakor igen egyenlőtlen az eloszlás.

Vizsgálatainkat a jelzett szuperfoszfáttal főleg kagylósmész talajokon folytattuk (1. táblázat). Nálunk Thüringiában a szántóterület nagyrészt kagylósmész talajokon fekszik, s hihetőleg éppen ilyen talajokon fenyeget leginkább a foszforsav leköötődésének veszélye, nehezen oldódó kalciumfoszfát képződése következtében. Feltételeztük ennél fogva, hogy mésztalajokon jó hatású lesz a szemcsésítés, mert késlelteti majd a foszforsav leköötődését. Azonban éppen az ilyen talajokon bizonyult rosszabb hatásának a szemcsés szuperfoszfát különösen akkor, ha egyenletesen oszlatták el a talajban.

1. táblázat

1956. évi tenyészedény kísérlet tavaszi árpával
Edényenként 270 mg P_2O_5 , P^{32} -vel jelezve

Trágyázás (szuperfoszfát)	Az elkeverés módja	Termés (szárazanyag) g	A trágya P mennyisége az összes felvett P %-ában	A P-trágya kihasználása %
------------------------------	-----------------------	------------------------------	---	---------------------------------

Tarka homokkő elmállásából képződött talaj (pH = 6,9)

Szuperfoszfát nélkül		33,6	—	—
Por alakú Szemcsézett	A talaj egész tömegével elkeverve	35,5 35,4	32 40	22 26
Por alakú Szemcsézett	Csak a felső rétegbe keverve	37,2 38,3	44 45	33 22

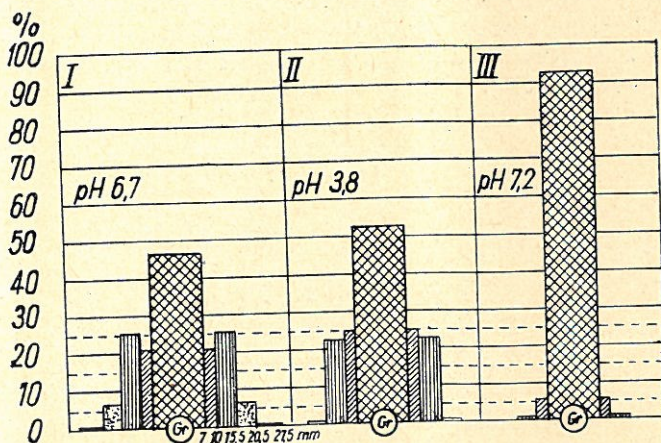
Kagylósmész elmállásából képződött talaj (pH = 7,4)

Szuperfoszfát nélkül		30,7	—	—
Por alakú Szemcsézett	A talaj egész tömegével elkeverve	31,2 29,8	28 19	16 10
Por alakú Szemcsézett	Csak a felső rétegbe keverve	32,8 30,8	37 32	23 18

Munkatársam Marschner [3] éppen ez okból rádióaktivitási mérésekkel vizsgálta a foszforsav kilépését a szemcsékből modellkísérletek segítségével. E kísérleteket először kagylósmész talajon, majd tarka homokkő talajon — melynek pH-ja 6 és 7 között volt — végül 3,8 pH-jú savanyú, ásványi talajon végezte. A talajt Neubauer edényekbe, azaz 11 cm átmérőjű üvegcsészékbe helyezte. 150 g, VK-értékének 60%-ig vízzel telített talaj került egy-egy csészébe, ahol mintegy 1,7 cm vastag réteget alkotott. A talajréteg közepére került egy szuperfoszfát szemcséje, amelynek 7 mm volt

az átmérője, vízdíszható P_2O_5 -tartalma pedig 12—15 mg. 14 nap múltán különböző átmérőjű korongokat hasítottak ki a talajból, azokból 10%-os HCl-el kioldották a P^{32} -t és meghatározták annak mennyiségét folyadék-számlálócső segítségével. Az eredményeket az 1. ábra tünteti fel.

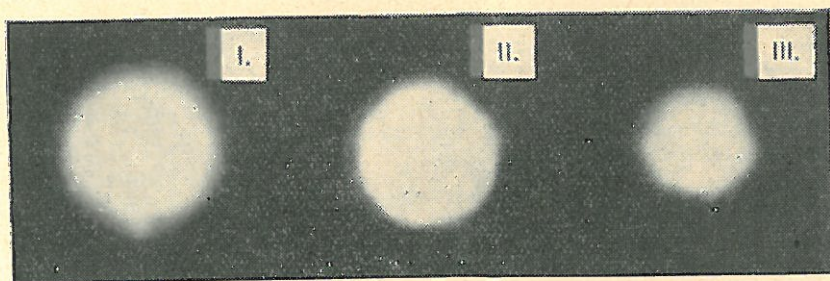
Az ábrából kitűnik, hogy a tarka homokkővön képződött talaj esetében marad vissza a szemcsében a legkevesebb P. Több mint 20 mm távolságra a középponttól még kimutatható volt a P^{32} . A foszforsavnak csak kb. 50%-a maradt a szemcsét tartal-



1. ábra

A P vándorlás mértéke a szuperfoszfátszemcséből (Gr) különböző talajokban. Függőleges tengely: A trágyából származó P_2O_5 %-a az egyes talajkorongokban. I. Tarka homokkő elmállása révén képződött talaj. II. Savanyú ásványi talaj. III. Kagylómész elmállása révén képződött talaj. Alul: Távolság a szemcse középpontjától mm-ben.

mazó belső korongban. Kifejezetten kisebb mértékű volt a P vándorlása a savanyú, ásványi talajban. 15 mm-re a középponttól már csak nyomokban volt jelen a P. Egészen más volt a helyzet a kagylómésztalajban. Itt a foszforsav 90%-a a belső korongban maradt, csak kb. 1%-a vándorolt messzebbre 10 mm-nél, míg a savanyú,



2. ábra

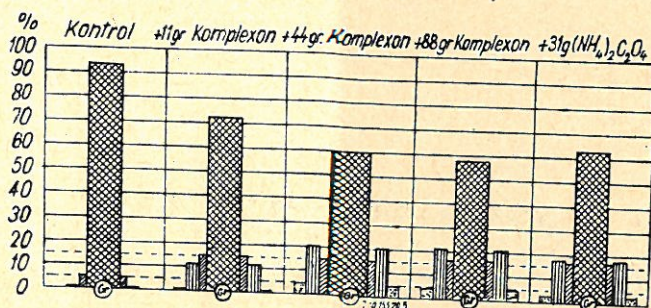
Szuperfoszfátszemcsék radioautogramjai. I.—II.—III. ugyanaz mint 1. ábránál.

ásványi talajban ennél nagyobb távolságban volt kimutatható a P 23%-a, a homokkő-talajban meg éppen 32%-a. A foszforsav tehát sokkal kisebb mértékben vándorol a kagylómésztalajban, mint más talajfélésekben.

Ezt a különbséget a rádiogramok is szemléltetik (2. ábra).

A P^{32} -vel jelzett kör átmérője kb. $\frac{1}{3}$ -dal kisebb a kagylómsész-, mint a homokkőtalaj esetében. A kalciumionok nagy koncentrációja tehát az oldható foszfor-sav gyors leköttetését eredményezte. Valószínű bár, hogy a foszorsav még felvehető maradt, de kétségtelen, hogy az egyes szemcsék „hatósugara” erősen csökken, mert egynek-egynek a hatásterülete a homokkőtalajon legalábbis kétszer akkora, hamarabb elérhető a gyökerek által és így gyorsabban járul hozzá a növények táplálásához, mint a meszes talajon kialakult szűk hatásterület.

Megkíséreltük a foszorsav vándorlásának siettetését, különböző anyagoknak a talajba történő bekeverése által. Kézenfekvő gondolat volt, hogy csökkentsük a kalciumionok koncentrációját. E célra ammóniumoxalátot és komplexont (etiléndi-amintetraacetát dinátriumsóját) használtunk (3. ábra).



3. ábra

Különböző mennyiségben (g/150 g talaj) bekevert anyagok hatása a foszorsav vándorlására a szuperfoszfátszemcséből, kagylómsészalajon. Függőleges tengely: A trágyából származó P_2O_5 %-a az egyes talajkorongokban.

Kitűnt, hogy ilyen anyagok bekeverése valóban előmozdította a P vándorlását a meszes talajban. 88 g komplexon 150 g talajra egyenértékű volt a talaj teljes CaO-tartalmával. De már sokkal kisebb adagok (11 g) hatására is fokozódott a P vándorlása a mésztalajban. Oly kísérleteket is végeztünk, melyekben nem a talajba, hanem a szuperfoszfátszemcsébe juttattuk a vándorlást előmozdító anyagot; az oxalátot, illetőleg a komplexont tehát a szemeszéséskor a szuperfoszfáttal kevertük össze (4. ábra).

Ezekben az esetekben is jó hatás mutatkozott, főként a komplexonos szemcsékkel, a mésztalajon. Itt a belső talajkorongban visszamaradt foszorsav mennyisége 90-ről 60%-ra csökkent, a hatósugár viszont 10-ről 20 mm-re — vagyis a kétszeresére — nőtt. Az oxalát bekeverésének hatása nem volt ilyen kedvező.

Eredményeink tehát azt bizonyítják, hogy a foszorsav kilépése a szemcsékből különböző talajokon igen eltérő mértékű, valamint azt is, hogy a mésztalajon mutatózó kisebb hatásterület idézi elő a rosszabb kihasználást. (A gyökerek túl későn érik el a képződött kis szigeteket, s így a kellő P-ellátás nem biztosított). A mésztalajokon tehát, inkább mint más talajtípusokon, szükséges, hogy a foszorsavat a növények közelébe juttassuk, pl. sávos trágyázás által és hogy a szemcsék ne legyenek túl nagyok, vagyis azonos trágyaadagok használatakor több ilyen sziget képződjék és a foszorsav eloszlása egyenletesebb legyen.

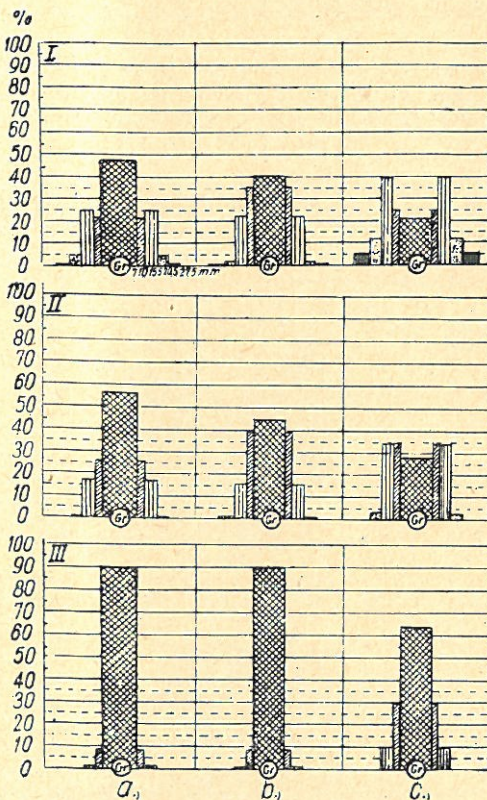
A kipróbált segédanyagoknak ez idő szerint még nincs gyakorlati jelentőségük, elsősorban a komplexonnak nincs, mert egyrészt túlságosan drága, másrészt a kellő koncentrációban történő felhasználás esetén károsítja a növényzetet. Célunk azonban

csak annak kiderítése volt, hogy mi okozza a meszes talajon tapasztalt gyenge hatást, s úgy látszik, meg is találtuk ezt az okot a kismértékű vándorlás képében. Úgy véljük egyébként, hogy a szerves-ásványi komplexszemcsék sokszor tapasztalt jó hatása a fentiekhez hasonló okokra vezethető vissza, mégpedig arra, hogy pl. az istállótrágyából képződő ammóniumhumát leköti a kalcium ionokat. Ennek következtében tovább marad oldható a foszforsav és nagyobb mértékben vándorol a talajban.

Az izotóp-kicserélődés vizsgálata.

A szemcsékből kivándorló P kérdésének megbeszélése után visszatérünk kiindulási pontunkra, a jelzett trágyák P kihasználásának meghatározására radiometrikus vizsgálatok segítségével.

Ez a módszer szélében használatos mert a trágyafoszforsorsát, annak kihasználásának mértékét a talajfoszfortól függetlenül közvetlenül mérhetjük. Közvetlenül nyomon követhetjük így módon a trágya-P útját a növény belsejébe. Felvetettük azt a kérdést hogy ez a radiometrikus eljárás valóban pontosabban tájékoztat-e a foszforsavtrágyák kihasználásáról, mint a szokásos standard-módszer? Ilyenkor — amint ez közismert — egy trágyázatlan és egy foszforsavval trágyázott parcella terméseit hasonlítjuk össze; meghatározzuk a foszforsav mennyiségét mindkettő termésében és megállapítjuk a különbséget. A trágyázott parcella növényei pl. 30, a trágyázatlan parcellán termettek pedig 20 kg P_2O_5 -t vettek fel ha-ként, a különbség 10 kg P_2O_5 a trágyázott parcella javára. Ha pl. a trágyázáskor 30 kg P_2O_5 -t adtunk 1 ha-ra, a trágya kihasználása $10 : 30 \times 100 = 33\%$. E módszer hibája az a feltevés, hogy a növények által a trágyázott parcellán felvett foszforsav-többlet csakis a műtrágyából származott, a talajból felvett P_2O_5 mennyisége pedig mindkét esetben azonos volt. Ez azonban nem mindig bizonyos, amit a következő szélsőséges példa szemléltet: Savanyú talajon a tuniszi nyersfoszfáttal trágyázott parcella növényei ismét 10 kg-al több P_2O_5 -t vettek fel mint a trágyázatlanok. 30 kg/ha trágyafoszforsav adagolása esetén tehát szintén $10 : 30 \times 100 = 33\%$ -os tárgykihasználás lenne feltételezhető. Lehetséges azonban, hogy ténylegesen csak a nyersfoszfátban levő mésznek a gyökérfejlődést előmozdító és a talajfoszforsavat „mozgósító” hatásáról volt szó, a nyersfoszfátból a növények esetleg egyáltalán nem vettek fel

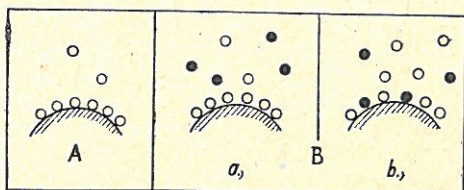


4. ábra

A szuperfoszfátszemcsébe kevert különböző anyagok hatása a foszforsav vándorlására. Függőleges tengely: A trágyából származó P_2O_5 %-a az egyes talajkorongokban. I.—II.—III. u. a. mint 1. ábránál. a) ellenőrző kísérlet b) oxalátos szemcse c) komplexos szemcse

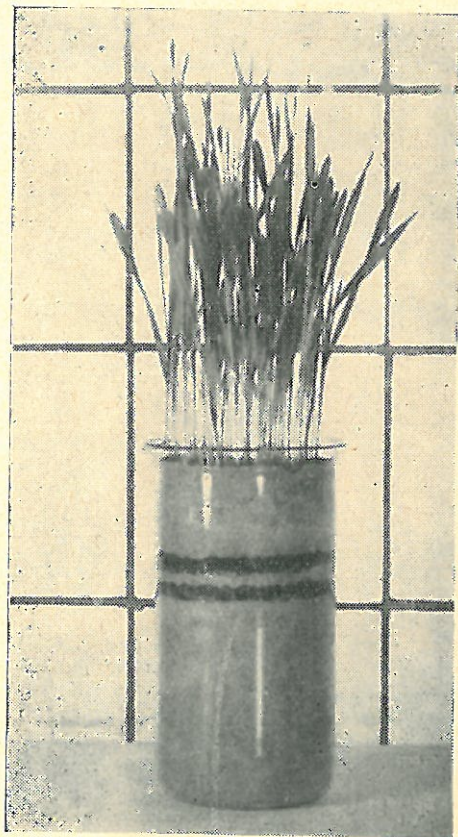
foszforsavat. Ilyen esetekben tehát a fenti különbözeti módszer hasznavehetetlen a rádiometrikus eljárással azonban megállapítható, hogy történt-e felvétel a nyersfoszfátból, vagy sem. Ezért sokan jobbnak tartják a rádiometrikus módszert.

Ennek a módszernek is vannak azonban hibái, éspedig azok, amelyeket a talajban



5. ábra

A talajban végbemenő P kicserélődés vázlatosan. A) trágyázatlan talaj B) szuperfoszfáttal trágyázott talaj a) kicserélődés előtt b) kicserélődés után



6. ábra

Az izotópkicserélődés meghatározására szolgáló edénykísérlet.

végbemenő izotóp-kicserélődés idéz elő. A talajban bekövetkező izotóp-kicserélődéssel már sok kutató foglalkozott, így Magyarországon is [6], mint arról nagy érdeklődéssel olvastam. E jelenség úgy értelmezendő, hogy a P^{32} egyenértékű P^{31} -et cserél ki a talaj foszforsavtartalmából, miként az alábbi egyszerű példa mutatja (5. ábra).

Az ábra bal oldalán feltüntetett talajban sok lekötött, de kevés oldható P van, az utóbbit a két szabadon álló kör jelképezi. Az ábra középső része a jelzett trágya-P hozzáadása után bekövetkezett állapotot mutatja. Az összes jelzett szuperfoszfátot a 4 fekete pont ábrázolja; ezek bizonyos fajlagos aktivitást képviselnek. A növény eleinte ebből az oldható frakcióból vesz fel foszforsavat. A helyzet azonban változik, a kicserélődés következtében. Az oldható foszforsav mennyisége azonos marad ugyan, a szabadon álló körök száma továbbra is 6; így tehát nem változik a trágyahatás sem. A jelzett atomok azonban belépnek a talajba, helyettük nem jelzett atomok válnak szabadokká, a fajlagos aktivitás tehát $4/6$ -ról $2/6$ -ra csökken, a csökkenés mértéke azonban nem állapítható meg. Tegyük fel, hogy a növények felveszik az oldható P felét; ez két jelzett és egy jelzetlen atom lenne, ha nem történt volna kicserélődés. Ha azonban a kicserélődés végbement, akkor a növények által felvett P-ban csak egy jelzett és két jelzetlen atom van. A növényben kimutatott aktivitás tehát kisebb lesz, mint az a felvett trágyafoszforsav mennyiségének megfelelne, ennél fogva nem lehet többé mértéke a trágyából származó foszforsavnak a növényben. Mennél nagyobb mértékű a leírt kicserélődés, annál nagyobb a trágyakihasználás fokának meghatározását célzó rádiometrikus mérések hibája.

Azt, hogy ilyen kicserélődés valóban előfordul, sok helyről származó laboratóriumi vizsgálat adatai bizonyítják. Meg kívántuk állapítani azt, hogy milyen mértékű lehet

ez a kicserélődés természetes viszonyok között, egy tenyészidő folyamán. Munkatársam Machold [2], az alábbi ez irányú kísérletet folytatta le.

¶ Hengerpohárba töltött kb. 1 kg homokot s abban 2 réteget (à 50 g) helyezett el ugyanaból a talajból, 50 g homokréteggel a kettő között (6. ábra). A két talajréteg közül a felsőt előzetesen radioaktívvá tette oly módon, hogy 14 napig rázatta nagy fajlagos aktivitású káliumfoszfáttal, míg az egyensúly be nem állott. A két talajréteg összes foszfortartalma ezáltal gyakorlatilag nem változott. Az alsó réteg talaját ugyanoly módon vízzel rázatta, mindkettőt megszáritotta és betöltötte az edénybe. A két rétegnek tehát azonos volt az összes foszfortartalma és szerkezete, a felső réteg azonban radioaktív volt, az alsó nem. Valamennyi edény esetében ugyanazt az eljárást alkalmazták, mindegyikben azonos súlyú jelzett talajréteg volt fönt, alatta pedig jelzetlen. Valamennyi edény azonos mennyiségű P-trágyát kapott, pl. 5 mg összes P_2O_5 -öt, nem radioaktív káliumfoszfát alakjában. A különbség abban állott, hogy a trágyafoszfort (5 mg) felváltva a felső, jelzett, illetőleg az alsó jelzetlen talajba adagolták. Az összes P_2O_5 mennyisége minden esetben azonos volt.

2. táblázat

Az izotóp-kicserélődés hatása a talaj és trágyafoszfor meghatározására

Edény száma és réteg jelölése	A felső (radioaktív)	Az alsó (inaktív)	P ₂ O ₅ a növényekben	A növények radioaktivitása imp./perc	A felső (aktív) rétegből felvett talaj P ₂ O ₅			Kicsérélt trágya P ₂ O ₅ %
	talajréteg trágyázása mg P ₂ O ₅				mg	D	%	
1 a) aktív felső talajréteg	2,5	—	16,1	9940	2,43	0,36	17	14
b) alsó talajréteg	—	2,5	16,1	8470	2,07			
2 a) aktív felső talajréteg	5	—	16,9	11030	2,70	0,59	28	12
b) felső talajréteg	—	5	16,4	8620	2,11			
3 a) aktív felső talajréteg	10	—	18,1	11850	2,90	0,84	41	8
b) alsó talajréteg	—	10	18,4	8430	2,06			

Kagylós mésztalaj: agyagfrakció (< 0,02 mm) 61%.

100 g talaj foszfortartalma: összes P_2O_5 200 mg, Neubauer P_2O_5 6,8 mg, Egnér P_2O_5 10,0 mg izotóposan hígítható P_2O_5 42 ± 2 mg.

A 2. táblázat a jénai kagylósmésztalajon elért eredményeket tünteti fel. Az edények mindig páronként szerepelnek, melyeknek 2—2 tagja mindig azonos mennyiségű trágyát, — 2,5, 5, illetőleg 10 mg inaktív P-t — kapott. Minthogy az összes P mennyisége minden edénypár két tagjában azonos volt, a növények mindkettőből kb. azonos mennyiségű P-t vettek fel (pl. 16,1 és 16,1 mg-ot). A növények aktivitása azonban különböző mértékűnek bizonyult, bár a radioaktív P mennyisége egy-egy edénypár mindkét tagjában egyforma volt. Ha a kiegészítő trágyát az *aktív* talajrétegbe adagolták, akkor a növények mindig több P^{32} -t vettek fel, így pl. 9940 imp. 8470, vagy

11 000 imp. 8600 ellenében, stb. Az inaktív foszforsav tehát fokozta a P^{32} felvételét az aktív rétegből. A talaj rádioaktivitása nem nőtt a trágyázás hatására, de a kicserélés mozgósított bizonyos mennyiségű P^{32} -t. Az inaktív foszfor kiszorította a rázás révén jelzetté vált talaj-P-t, abból több került a felvehető frakcióba, s így a növények több P^{32} -t vettek fel. A P^{32} -többség 17—41% volt. A kicserélt P mennyisége, a trágya-P %-ában = 8—14. A trágyának tehát 8—14%-a belépett a talajba, s kicserélt abból egyenértékű mennyiségű talaj-P-t. Az ismertetett esetben a szóbanforgó mennyiség 14% volt, más talajok, pl. csernozjom esetében 23%, két egymást követő termés esetében egy ízben 30%-ot is tapasztaltunk; ennyi hatolt be a talajkomplexusba a trágyából. A trágyahatás szempontjából ez a kicserélődés semmit sem jelent, hiszen az oldható frakció mennyisége azonos maradt. Ha azonban pl. a trágyafoszfor rádioaktív lett volna, akkor a fenti kicserélődés következtében a fajlagos aktivitás 14, csernozjom esetében meg éppen 23%-kal csökkent volna; a rádiometrikus módszer révén tehát, a tenyészidő folyamán beállott hiba elérhette volna a 23%-ot is. Igaz, hogy itt maximális értékekről van szó. Az, hogy a hiba valóban ekkora lesz-e, különböző tényezők alakulásától függ, többek között attól, hogy mekkora a tényleges foszforsavfelvétel, nevezetesen, hogy mennyit vesznek fel ismét a növények a talajkomplexusba beépült rádioaktív foszforból. Nem kívánok e helyen behatóan foglalkozni a részletekkel; elegendő annak megállapítása, hogy az izotópkicserélődés természetes viszonyok között, természetes nedvességtartalom esetében, egy tenyészidő folyamán is számottevő hibákat idézhet elő a rádiometrikus mérések eredményeiben; e hibák 10, sőt esetleg 20%-ra is rúghatnak. Az izotóp-kicserélődés tehát nem elhanyagolható tényező, amit eddig gyakran nem vettek figyelembe. Ezért a trágyakihasználásra vonatkozó adatokat ebből a szempontból kritikailag meg kell vizsgálni. Különösen előtérbe lép az izotóp-kicserélődés akkor, ha a növényeket különböző fejlődési stádiumokban aratják le. Ha az idősebb növényekben, ami gyakori eset, a fajlagos aktivitás csökkenése — valódi csökkenés, a hígulás folytán, nem a felezési idővel összefüggő visszaesés — tapasztalható, akkor ez nem vezetendő vissza feltétlenül a foszforsav lekötődésére a talajban, hanem részben azzal magyarázható, hogy az idő folyamán izotóp-kicserélődés történt. Mennyiségi értékelésekkor e tekintetben a legnagyobb óvatosság szükséges.

Másféle felületeken is végbemehet az izotóp-kicserélődés; valószínűleg ez a magyarázata pl. annak a tapasztalatnak, hogy a növények bizonyos izotópokat látszólag fokozott mértékben vesznek fel oldatokból, tehát megváltoztatják a fajlagos aktivitást. Ilyen esetekben is idővel izotóp-kicserélődés megy végbe a növényben levő inaktív izotóppal. Ha tehát bizonyos idő múltán megvizsgáljuk a tápoldatot, gyakran tapasztaljuk, hogy annak fajlagos aktivitása csökkent, de nem szükségszerűen azért, mert a növény előnyben részesíti a jelzett izotópot, hanem azért, mert kicserélődés ment végbe, melynek következtében az oldat fajlagos aktivitása a hígítás folytán csökkent.

Búzaggyökerek P^{32} kiválasztásának vizsgálata.

Ezzel elérkeztünk a gyökerek felületén végbemenő folyamatokhoz és fiziológiai kérdésekhez. Befejezésül még a növényi gyökerekkel végzett vizsgálatainkról kívánok beszámolni, nevezetesen a foszfor kiválasztásáról a gyökerek által.

Különböző anyagok kiválasztása a növényi gyökerek által már igen régen felvetett kérdés, melyre a legkülönbözőbb módon kísérelték meg a válasz adását. Ez a probléma nem csupán elméleti szempontból érdekes, hanem nagy gyakorlati jelentőségű a talajtan részére is. Pl. a talajuntság egyik okát a növények közötti összefüggésekben kereshetjük, kb. abban az értelemben, ahogy M o l i s c h az „alleopathia”-ról beszél, amikor is a növény nemcsak ásványi, hanem szervesanyagokat is kiválaszt.

Ezt a kérdést egy szorosan és világosan körülhatárolt példa kapcsán tanulmányoztuk [4,5].

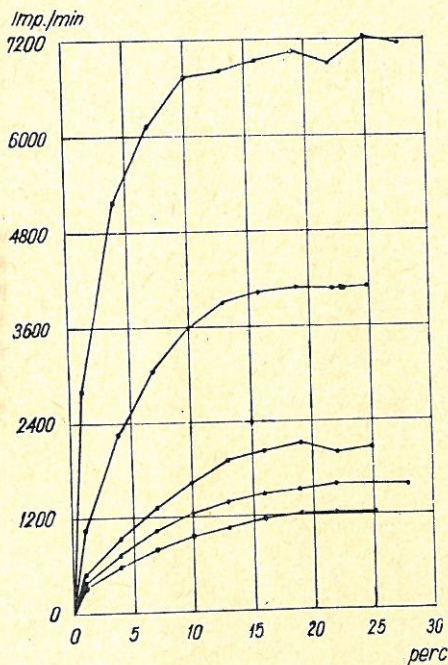
Búzanövényeket neveltünk teljes tápoldatban. A tápoldat jelzett foszfort tartalmazott, tehát 3—4 hét múltán a növények egész P-tartalma jelzettnek volt tekintendő. A tápoldat fajlagos aktivitása 0,3—0,6 mC/l g P_2O_5 volt, (literenkint 25 $\mu C P^{32}$), tehát alatta maradt a mérgező hatás küszöbértékének; ez utóbbi nehezen határozható meg pontosan, mert függ a fejlődési viszonyoktól; a rendelkezésre álló adatok szerint 1—2 mC/l g P_2O_5 körül van.

A gyökereket leöblítettük desztillált vízzel, majd áthelyeztük a növényeket más edénybe, melyben desztillált víz, vagy P-mentes tápoldat volt. A gyökerekből kilépett aktív P mennyiségét folyadékszámológó segítségével határoztuk meg. E készülék előnye az, hogy ismételten vehetők ki minták a tápoldatból és visszaönthetők abba.

Így tehát kis időközönként mérhető az aktivitás fokozódása a folyamat megzavarása nélkül. A mérések hibahatára kb. 2—3%.

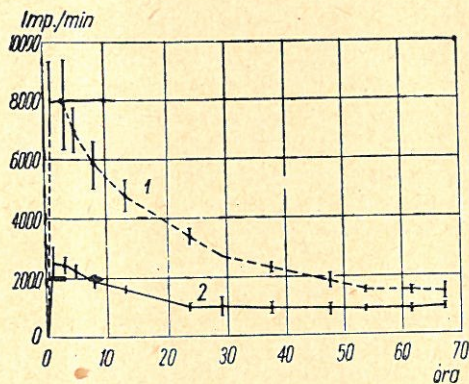
A 7. ábra az aktivitás növekedését mutatja a külső oldatban (azaz deszt. vízben), az első 10—20 perc után (felső görbe).

20 perc múltán maximális értéket tapasztaltunk. Friss deszt. vízbe helyez-



7. ábra

A deszt. víz aktivitásának növekedése az előzőleg P^{32} tápoldatban nevelt növények hatására 0—30 percig



8. ábra

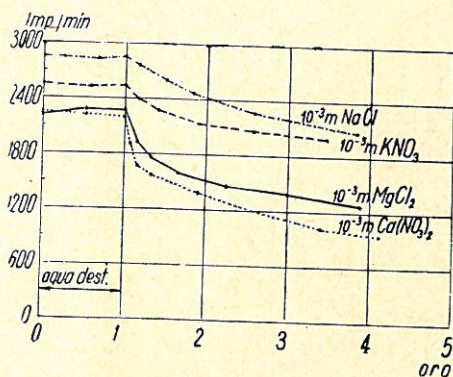
A deszt. víz (1) ill. P-mentes tápoldat (2) aktivitásának változása 70 óra alatt

tük a növényt, amikor is további kilépés következett be, mely itt is elért egy maximumot (második görbe) és így tovább. Az egyensúlyi helyzet azonban csak rövid ideig állott fenn. Ha ugyanis néhány óra múlva végezzük a méréseket, úgy ezek csökkent aktivitást jeleznek (8. ábra).

A növények tehát ismét felveszik a gyökereik által kiválasztott foszfor egyrészét, mígnem kb. 50—60 óra — azaz 2—3 nap múltán egy jól meghatározható végérték áll be, mely hosszú ideig változatlan marad. A növények tehát végül is egyensúlyba kerülnek egy bizonyos P-szinttel.

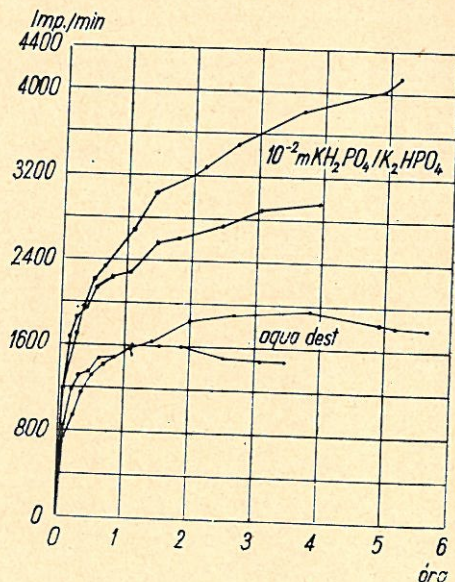
Ezek az eredmények nyilván úgy magyarázhatók, hogy a foszforsav pusztán ki-diffundál a gyökerekből, nevezetesen az ún. AFS-ből (apparent free space), abból a látszólagos szabad térből, mely magában foglalja a sejtközi üregek vízzel telített részeit, a sejtfalakat és esetleg a citoplazma egyes részeit is. Ez az AFS kezdetben még egyensúlyban van a töményebb tápoldattal. A leöblítés folyamán csak kevés P-t veszít és azután foszforsavat választ ki a P-mentes oldatba — a jelen esetben deszt. vízbe — míg kb. 20 perc múlva egyensúly áll be. Az is kimutatható volt egyébként, hogy az első kiválasztás mértéke függ pl. a gyökerek P-vel való ellátottságának mértékétől. A P-ben dúsabb tápoldatban nevelt növények gyökerei több foszfort tartalmaztak, s többet is választottak ki az első percek folyamán.

Néhány óra múlva ismét csökken az oldat P-tartalma. E jelenség csak a P újbóli felvételével magyarázható. 3 nap múlva újabb egyensúly áll be a gyökér és környezete (vagyis a felvétel és a kiválasztás) között. Ez valószínűleg megfelel annak a határnak is, ameddig a növény képes a talaj foszfortartalmának kiaknázására. Ha deszt. víz helyett P-mentes tápoldatot használunk (8. ábra), akkor a folyamat elvben



9. ábra

Különböző sók hatása a P^{32} kiválasztására.



10. ábra

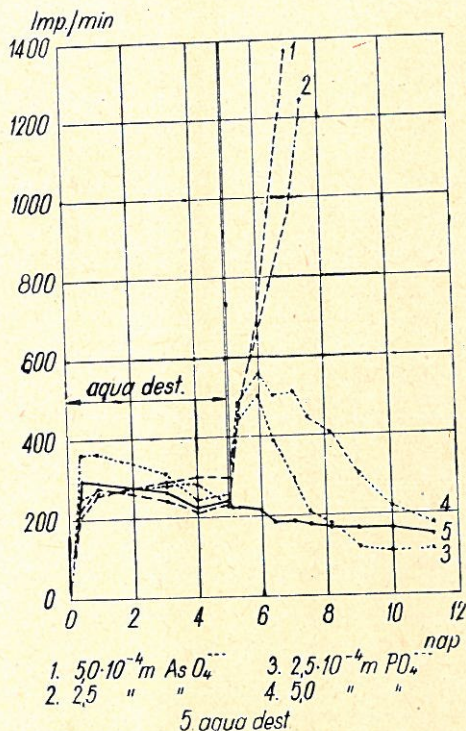
A P^{32} kiválasztás alakulása deszt. vízben és P^{31} -et tartalmazó oldatban

azonos módon megy végbe, de a meghatározott értékek kisebbek, ami a fokozott újrafelvétellel magyarázható. A lélegzés mértéke hatással van ugyan a sók felvételére, de a sóknak is van hatásuk a lélegzésre (ez az ún. „sólélegzés” L u n d e g a r d h [1] szerint) úgyszintén a gyökér egész anyagcseréjére. A tárgyalt esetben a sók hatására fokozódó lélegzés a P^{32} fokozott újrafelvételét eredményezi. Itt is beáll egy egyensúly. Bizonyos mennyiség visszasamaradt, ezt a növények már nem tudják újból felvenni; ez a maradvány azonban kisebb, mint deszt. víz esetében. A növények tehát ebben az esetben jobban kiaknázhatják környezetük P-tartalmát, több P-t vehetnek fel, mint sók nélkül, amikor is kisebb mértékű a lélegzés. Eszerint a lélegzés mértéke dönti el, hogy mennyi foszforsavat vehetnek fel a növények. Kitűnik ez a következő 9. ábrából is.

Só hozzáadása az oldathoz nyomban csökkenti annak P-tartalmát. A gyökerek eleinte P-t választottak ki, a só utólagos hozzáadása csökkenti az oldat P-tartalmát: ez annak a jele, hogy a lélegzés szabályozza a P-felvételt.

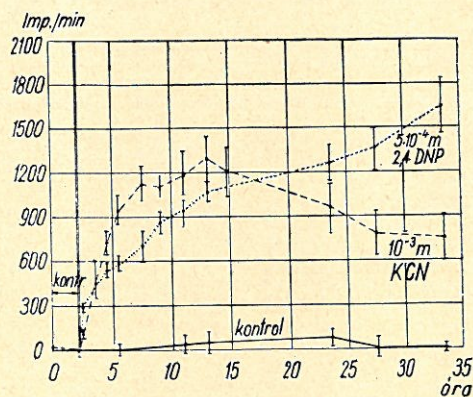
Ha azonban deszt. víz helyett oly tápoldatba helyezzük a növényeket, mely inaktív foszfátot tartalmaz — tehát nem kloridot, vagy szulfátot, hanem foszfátot — akkor egészen más jelenséget tapasztalunk. Ez esetben a gyökerek önmaguktól több P^{32} -t választanak ki (10. ábra).

Ez a jelenség csak azzal magyarázható, hogy az oldat inaktív foszforsava kiszorítja a gyökerek felszínén helyetfoglaló P-t. Ugyanaz a kicserélődés megy tehát végbe, amelyet fent a talaj felületén tapasztaltunk, most viszont a gyökérfelületen: inaktív P cseréli ki a növény jelzett P-jét. Itt egészen általános jellegű folyamatról van szó, amely mindig megfigyelhető, ha anyagok haladnak át membránokon. Az áthaladás nem kizárólag egyirányú, pl. kívülről befelé, hanem egyúttal a fordított irányban is végbemegy. Ez a dinamikus állapot, pl. a membrán két oldalán levő ionok kicserélődése, olyan jelenség, amelynek megismerését éppen az izotópoknak köszönhetjük, s amely alapvetően megváltoztatta az állati és növényi szervezetben végbemenő anyagcsere-folyamatokra vonatkozó nézeteket.



11. ábra

A P^{32} kiválasztás alakulása PO_4 és AsO_4 hatására
Vízszintes tengely: napok száma



12. ábra

Légzésgátló anyagok hatása a P^{32} kiválasztására
35 óra alatt

A következő grafikon (11. ábra) azt mutatja, hogy a növények a lélegzéstől függő méretekben fokozatosan ismét felveszik a kicserélt foszforsavat.

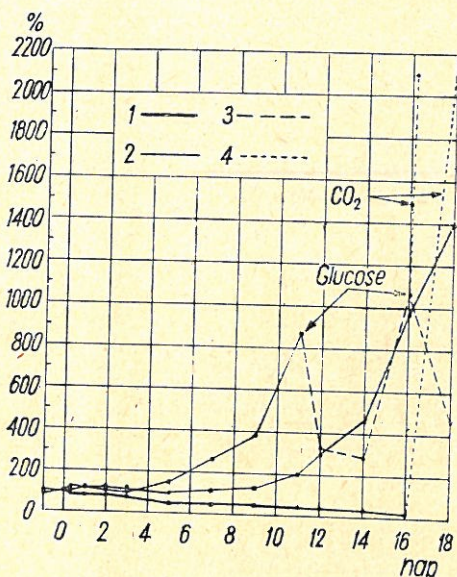
Ebben nincs semmi rendkívüli. Feltűnő azonban, hogy ugyanazt a kicserélő hatást fejt ki egy másik, a foszfáthoz hasonló anion, az arsenát is. Ha inaktív arsenát van az oldatban, akkor a foszfátkicserélődés ugyanúgy folyik le, mint inaktív foszfáttal; másféle ionok hatástalanok e tekintetben. Általában csak kationokkal kapcsolatosan esik szó a kicserélési adszorpcióról, mint a tápanyagfelvétel első lépéséről, még pedig olyan értelemben, hogy a kationok adszorbeálódnak bizonyos meghatározott vivőanyagokon (carrier), melyeknek egészen specifikusnak kell lenniük, így pl. a kálium és a rubidium versenyezhetnek a hordozón levő helyekért, de a nátrium és a litium nem, vagy pedig a kalcium és a stroncium igen, de a magnézium nem. Eredményeink

azonban arra vallanak, hogy erősen fajlagos jellegű *anionkicserélés* is létezik, melynek során a foszfát és az arsenát verseng egymással. Olyan tapasztalat ez, amelynek nagy jelentősége lehet az anyagcseremechanizmusok megismerése szempontjából.

Nem meglepő, hogy a foszfát-, illetve arsenáthozzáadás esetén kapott görbék később szétváltnak. A foszfátot újból felveszik a növények, míg az arsenát az anyagcserére kifejtett gátló hatása révén, lehetetlenné teszi az újrafelvételt. Ezzel visszatértünk a kiindulási pontra. A 9. ábrából kitűnt, hogy ha nem foszfátot, hanem más sókat adagoltunk az oldatba, akkor fokozódott a foszforsav újbóli felvétele, a lélegzés és ezzel a „szivattyútelsítmény” növelése révén. A fordított esetet mutatja a 12. ábra.

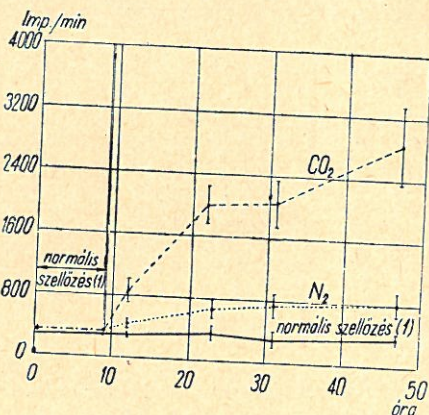
Ha gátoljuk a lélegzést, mérgező anyagok, pl. KCN, vagy 2,4-dinitrofenol segítségével, akkor nyomban fokozódik a gyökerek P-kiválasztása, 2,4-D esetében csaknem

lineárisan, vagyis azonos időtartam folyamán azonos mértékű P-kiválasztás, ami tisztán diffúziós jelenség. Erre vall a hőmérsékleti együttható — Q_{10} — is, amelynek értéke kb. 1,2. KCN esetében hamarosan megszűnt a diffúzió, mert a



13. ábra

Az árnyékolás hatása a P^{32} kiválasztására a kezdeti aktivitás %-ában megadva. 1. világosban 2. sötétben, 3. sötétben+glucose, 4. CO_2



14. ábra

CO_2 és N_2 hatása a P^{32} kiválasztására

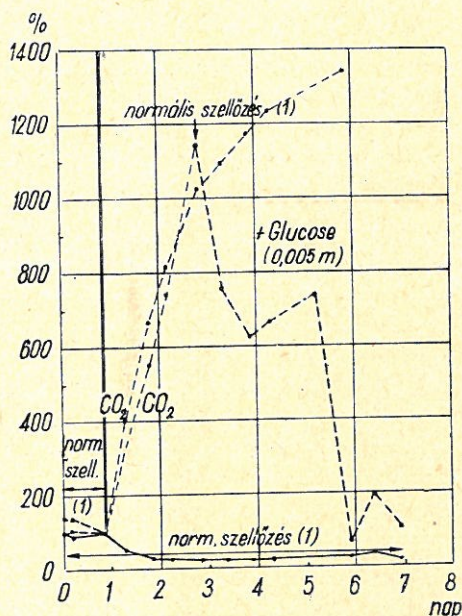
méreganyag megsemmisült az anyagcsere folyamán. Az egész folyamat felosztható tehát két fázisra: 1. tiszta diffúzió, 2. újbóli anyagfelvétel, a lélegzés mértékének megfelelően, bizonyos határértékig.

A beárnyékolás ugyanolyan módon fokozza a P-kiválasztást, mint a lélegzésre nézve mérgező anyagok (13. ábra).

E jelenség oka a lélegzési alapanyag hiányában keresendő. Bizonyos növények P-kiválasztása már előbb fokozódott; e növények szegények voltak lélegzési alapanyagban. Más növények viszont csak később választanak ki nagyobb mennyiségű P-t, mert lélegzésük még élénk. Szőlőcukor hozzáadására az oldathoz, azonnal csökken annak P-tartalma, a foszforsavfelvétel újból megindul. Ha elfogyott a szőlőcukor, ismét nő az oldat P-tartalma és így tovább. A lélegzés hatását a P újrafelvétele világosan már nem is lehetne kimutatni.

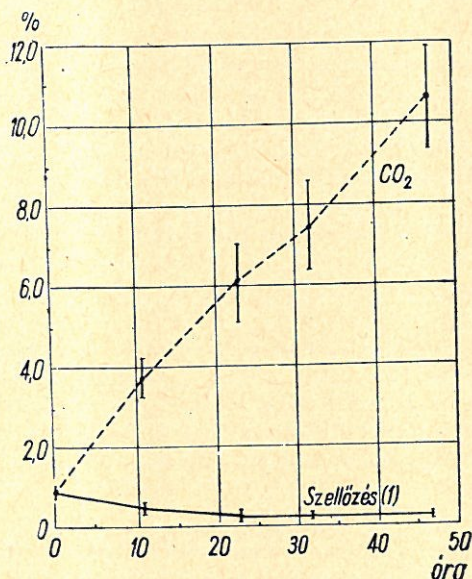
Szembetűnik még egy másik jelenség is. Ha az oldatot nem szellőztetjük normálisan, hanem CO_2 -t vezetünk át rajta, akkor a gyökerek aránytalanul több P-t választanak ki. Ezt mutatja a következő — 14. ábra — is.

A CO_2 tekintetben sokkal hatásosabb, mint pl. a nitrogén. Ez nem lephet meg. Oxigén esetleg felülről, a száron keresztül is juthat a gyökerekhez, amint azt Z s o l d o s [7] Magyarországon kézzelfoghatóan kimutatta rizs esetében. A gyökerek felületén felhalmozódott szénsav azonban megakadályoz mindennemű anyagcserét azért, hogy gátló hatást fejt ki az itt szerepet játszó enzimatis folyamatokra, tehát az erjedésre is, míg az oxigén hiánya csak egyes részfolyamatokat bénít meg. Ezért hatásosabb a széndioxid-felesleg, mint az oxigénhiány.



15. ábra

A légzés intenzitásának hatása P^{32} kiválasztására. A kezdeti aktivitás %-ában megadva.



16. ábra

A P^{32} kiválasztás mértéke a növény összes P tartalmának %-ában.

A következő 15. ábrából is kitűnik a lélegzés hatása és a szénsav előidézte gátlás.

Ha a CO_2 behatását követően ismét szellőztetjük az oldatot, a növények nyomban ismét felveszik csaknem az egész kiválasztott P-t. E tapasztalat bizonyítja a lélegzés jelentőségét a tápanyagfelvétel szempontjából, de bizonyítja azt is, hogy reverzibilis, szigorúan élettani jellegű folyamatokról van szó, amennyiben a növény képes az egész kiválasztott foszforsav újrafelvételére. A gyökerek tehát olyan vegyület alakjában választják ki a foszfort, hogy az újból felvehető. Kimutattuk, hogy valóban szerves foszforvegyületről van szó ilyen esetekben. A gyökerek környezetéből vett szűredéket besűrítettük és szűrőpapirosra vittük. Hasonlóképp jártunk el tiszta foszfátból és foszfatidokból készített standardoldatokkal is. A papírost azután elektroforézisnak vetettük alá és megvizsgáltuk a Geiger—Müller-féle számlálócsővel. A maximális aktivitást ott tapasztaltuk, ahol a szerves foszfor maximuma volt, a foszfatidok helyén csak nyomokban mutattunk ki aktivitást. A gyökerek által kiválasztott foszfor-

sav tehát túlnyomórészt szervetlen alakú, amire már a nagyfokú újrafelvétel alapján is következtethettünk.

Másik kísérletünk is bizonyította a feltevés helyességét. Papírkromatográfiás vizsgálatokat végeztünk butilalkohol-jéget-víz eleggyel. A szűredék maximális P-tartalma ilyenkor is ott mutatkozott, ahol a szervetlen foszfátok megjelentek. Kiszámítottuk, hogy a P-nek legalább 80%-át szervetlen vegyület alakjában választották ki a gyökerek. Pontosabb meghatározásokra nem törekedtünk, mert a vizsgálatokat nem végeztük steril körülmények között és a másodlagos változások lehetősége amúgy sem volt kizárt.

Utalni kívánok még a foszforsavkiválasztás gyakorlati jelentőségére. Kérdés, hogy milyen mennyiségű a ténylegesen kiválasztott foszforsav? Az izotóp-módszer, nagyfokú érzékenysége folytán azt a veszélyt rejtí magában, hogy túlértékelünk bizonyos jelenségeket és mennyiségeket, amelyeknek nincs gyakorlati fontosságuk. Ennélfogva a 16. ábrában nem az impulzusok számát, hanem a százalékos értékeket tüntettük fel, a növényekben levő P mennyiségére vonatkoztatva.

Kitűnik, hogy a kiválasztott P-mennyiségek nem érik el a 0,5%-ot, tehát jelentéktelenek. Egészen más azonban a helyzet a szénsav torlódása és a lélegzés gátlása esetében. Ilyenkor 2 nap alatt olyan mennyiséget választottak ki a gyökerek, ami elérte a növény eredeti P-tartalmának 12%-át is. Nyilvánvaló tehát, hogy milyen nagy jelentősége van a talaj levegőgazdálkodásának a növény szempontjából. A gázcsere és a gyökerek lélegzése csak a laza szerkezetű talajban biztosított, viszont csak a lélegző, tevékeny gyökér képes arra, hogy ellássa a növényeket tápanyagokkal. Tömődött, nem beéredett, vagy éppen vizenyős talajban, ha a szénsav megtorlódik a gyökerek felszínén és csökkenti a lélegzést, a nagy tápanyagtartalom sem hasznosul, mert a tápanyagfelvétel korlátozott; sőt ilyen kedvezőtlen viszonyok között tápanyagok léphetnek ki a gyökerekből és mehetnek veszendőbe. Aligha mutatható ki világosabban, hogy milyen szoros összefüggés van a lélegzés és a tápanyagfelvétel között és, hogy mennyire szükséges a kedvező talajszerkezet — amit morzsás szerkezetnek, vagy beéredett állapotnak mondunk — a tápanyagfelvétel és így a terméseredmény szempontjából.

Összefoglalás

A szerző a jénai mezőgazdasági kémiai intézetben a radioaktív P^{32} felhasználásával végzett, többirányú kutatómunka eredményeit ismerteti. E kutatások részben a szemcsés és a por alakú szuperfoszfát trágyahatása közötti különbségek okainak felderítésére irányultak. Megállapítást nyert, hogy a P_2O_5 kilépése a szuperfoszfát szemcséből, illetőleg az a távolság a szemcsétől, ameddig a diffúzió terjed, a talaj jellege szerint változó, pi. kagylómész talajban csekély, a növények gyökerei csak későn érik el az egyenlőtlenül elosztott, P-ben dús „szigeteket”, ezért nem kielégítő hatású a trágyázás. Fokozódott a P kilépésének mértéke a szuperfoszfát szemcséből és messzebbre terjedt a diffúzió, ha oly anyagokat is juttattak a talajba — oxalátot, vagy komplexont — melyek lekötik a Ca-ionokat és így megakadályozzák oldhatatlan Ca-foszfátok képződését; ez az eljárás azonban gyakorlatilag nem alkalmazható, mert túl költséges, illetőleg, mert a komplexon mérgező hatású a növényekre.

Más vizsgálatok célja a P-trágyák kihasználási %-ának meghatározása volt. Igen elmes kísérletek lehetővé tették annak kimutatását, hogy az izotóp-kicserélődés — a jelzett és a nem jelzett P-atomok helycseréje — bizonyos körülmények között számottevő mértékű, 10—20%-ot is elérhet, aminek következtében a mért aktivitási értékeken alapuló számítások olykor jelentékeny hibákkal terheltek. Ily természetű vizsgálatok alkalmával tehát ez a hibaforrás figyelembe veendő.

A vizsgálatok harmadik csoportjának tárgyát a növényi gyökerek tápanyag-felvétele és -kiválasztása képezte. Különböző kísérletek eredményeiből világosan kitűnt, hogy a szóbanforgó folyamatokat a növény lélegzése szabályozza. Gátolt lélegzés esetén — pl. CO_2 -atmoszférában, vagy a lélegzési mechanizmust bénító mérgek (arzenát) jelenlétében — a gyökerek a növény P-tartalmának jelentékeny részét (egyes esetekben 12%-át is) kiválasztják a környező oldatba s a gátlás megszűnte után, midőn ismét megélénkül a lélegzés, újból felveszik. Így kísérletek során kitűnt az is, hogy fajlagos anion-kicszerelődés éppen úgy végbemegy a gyökerek, mint a talaj felületén.

A P kiválasztása a gyökerek által csaknem kizárólag szervetlen vegyület — foszforsav alakjában történik, mert a szinte teljes mértékű újrafelvétel csak így lehetséges s az elemzési adatok valóban ezt bizonyították. — A harmadik csoportbeli kutatások eredményei arra is rávilágítanak, hogy milyen nagy jelentőségű a gyökérlélegzés biztosított volta — vagyis a jó talajszerkezet, a megfelelő nedvességi állapot és szellőztetés — a gyökerek tápanyagfelvétele és így a terméshozam szempontjából.

Érkezett: 1958. november 18.

Irodalom

- [1] Lundegårdh, H.: Klima und Boden. Fischer. Jena. 1954.
- [2] Machold, O.: Der Einfluss des Isotopenaustausches auf die Ermittlung des Boden- und Düngerphosphors bei radiometrischen Untersuchungen der P-Aufnahme durch die Pflanze. Komm. Intern. Bodenk. Ges. 2. 200—206. 1958.
- [3] Marschner, H.: Über die Wanderung der Phosphorsäure aus Superphosphatgranulaten auf verschiedenen Böden. Komm. Intern. Bodenk. Ges. 2. 91—98. 1958.
- [4] Michael, G. & Marschner, H.: Über den Phosphataustausch an Wurzeloberflächen. Z. Botan. 46. 37—52. 1958.
- [5] Michael, G. & Marschner, H.: Untersuchungen über die Phosphatabscheidung aus Pflanzenwurzeln mit Hilfe von P^{32} . Z. Pflernähr. Düng. 80. 1—18. 1958.
- [6] Molnár, F., Máté, F. & Kende, I.: A talaj $^{32}\text{PO}_4$ -felvételének kinetikájához. Agrokémia és Talajtan. 6. 211—222. 1957.
- [7] Zsoldos, F.: Physiological study of the rice II. Effect of aerobic and anaerobic conditions on the ion uptake of rice. Acta Biol. Univ. Szegediensis. 4. 51—57. 1958.

РЕЗУЛЬТАТЫ НОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ПРОВЕДЕННЫХ МЕЧЕННЫМ ФОСФОРОМ

Г. Михаэл

Кафедра агрономической химии Университета им. Фридриха Шиллера, гор. Йена (Г. Д. Р.)

Резюме

Автор излагает результаты многосторонних исследований, проведенных при помощи радиоактивного фосфора на кафедре агрономической химии в городе Йена. Эти исследования были направлены частично на выяснение причин различного эффекта гранулированного и пылеобразного суперфосфата. Было установлено, что выход фосфорной кислоты из гранул суперфосфата, а так же граница диффузии зависят от характера данной почвы, например в известковой ракушечной почве эти процессы слабо представлены; корни растений позже достигают очаги, богатые фосфорной кислотой, распределенные в почве неравномерно, поэтому эффект от удобрений неудовлетворителен. Степень выхода фосфора из гранул суперфосфата и интенсивность диффузии увеличивается при внесении в почву веществ, связывающих ионы Са (например оксалаты, комплексоны) и предотвращающих образование нерастворимых фосфатов кальция.

Такое мероприятие практически неосуществимо из за дороговизны и токсического действия комплексона на растения.

Другие исследования были направлены на определение степени использования фосфорных удобрений. Оригинальные опыты дали возможность доказать, что изотопный обмен (обмен местами между меченым и немечеными атомами фосфора) в известных условиях может быть очень значителен, доходя до 10—20%. В следствие этого, вычисления, основанные на измерении активности, не являются достаточно точными. При таких исследованиях необходимо принимать во внимание такую возможность неточности.

Третья группа исследований была направлена на изучение поглощения и выделения питательных веществ корнями. Результаты различных исследований показали, что этот процесс регулируется дыханием растений. В случае торможения дыхания (например) корни растений выделяют в окружающую среду значительную часть (в отдельных случаях до 12%), содержащего в них фосфора.

После исчезновения торможения и возобновления интенсивности дыхания, растения снова поглощают фосфор. В ходе опытов оказалось, что удельный обмен анионов проходит на поверхностях и корней, и почвенных частичек. Выделение фосфора корнями может происходить почти без исключения в виде неорганического соединения (фосфорная кислота) т. е. вторичное полное поглощение может происходить только в этом случае. Данные анализов подтвердили это. Результаты исследований такого характера показывают, что нормальные условия для дыхания корней (т. е. хорошая структура, соответствующие условия влажности и аэрации) играют неоценимую роль в поглощении питательных веществ корнями и таким образом оказывают большое влияние на величину урожая.

Рис. 1. Степень выхода фосфора из гранул суперфосфата (gr) в различных почвах. На ординате процент P_2O_5 из удобрений в отдельных образцах почвы. I. Почва образована из цветного песчаника. II. Кислая минеральная почва. III. Известково — ракушечная почва. Внизу: расстояние от центра гранул в мм.

Рис. 2. Радиоавтограммы гранул суперфосфата. I, II, III, обозначение см. рисунок I.

Рис. 3. Влияние, на выход фосфорной кислоты из гранул суперфосфата, веществ внесенных в известково — ракушечную почву в различных дозах (гр/250 гр почвы) На ординате процент P_2O_5 из удобрений в отдельных образцах почвы.

Рис. 4. Влияние различных веществ, примешанных к гранулам суперфосфата, на выход фосфора. На ординате процент P_2O_5 из удобрений в отдельных образцах почвы. I, II, III то же, что и на рис. 1. а) контрольный опыт в) гранула с оксалатом с) гранула с комплексом.

Рис. 5. Схема обмена фосфора в почве. А — неудобренная почва, В — удобренная суперфосфатом. а — до обмена, в — после обмена.

Рис. 6. Вегетационный опыт для определения изотопного обмена.

Рис. 7. Повышение активности дистиллированной воды от 0 до 30 мин. под влиянием растений, предварительно воспитанных в питательном растворе, содержащем R^{32} .

Рис. 8. Измерение активности дистиллированной воды (1), и питательного раствора, без фосфора (2), за 70 часов.

Рис. 9. Влияние различных солей на выделение R^{32} . На абсциссе время в часах.

Рис. 10. Выделение R^{32} в дистиллированной воде и в растворе, содержащем R^{32} . На абсциссе время в часах.

Рис. 11. Выделение R^{32} под влиянием PO_4 и AsO_4 . На абсциссе число дней.

Рис. 12. Влияние ингибиторов дыхания на выделение R^{32} за 35 часов.

Рис. 13. Влияние затемнения на выделение R^{32} в % от начальной активности. На абсциссе число дней. (1) на свету (2) в темноте (3) в темноте с добавлением глюкозы. (4) Углекислый газ.

Рис. 14. Влияние CO_2 и N_2 на выделение R^{32} (1) нормальная аэрация. На абсциссе время в часах.

Рис. 15. Влияние интенсивности дыхания на выделение R^{32} в % от начальной активности (1) нормальная аэрация. На абсциссе число дней.

Рис. 16. Степень выделения R^{32} в % от общего содержания фосфора в растениях. На абсциссе время в часах. (1) Нормальная аэрация.

Ergebnisse der mit radioaktivem Phosphor geführten neueren Forschungen

G. MICHAEL

Friedrich-Schiller-Universität, Lehrstuhl für Agrarchemie,
Jena (Deutsche Demokratische Republik)

Zusammenfassung

In dieser ungarischen Publikation werden die Ergebnisse der vom Verfasser in dem Landwirtschaftlichen Chemischen Institut zu Jena, mit P^{32} strahlenden Isotopen geführten Forschungen beschrieben. Die Forschungsergebnisse wurden in deutschen Fachzeitschriften bereits veröffentlicht [2, 3, 4, 5] und werden deshalb hier nur kurz zusammengefasst.

Die mit granuliertem Superphosphat geführten Versuche haben erwiesen, dass die Phosphationen aus den Granulen je nach der Bodenbeschaffenheit unterschiedlich diffundieren. Die Diffusion der Phosphate wird durch das Vorhandensein komplexbildender Stoffe gefördert.

Bei der Untersuchung der Verwertungsprozente der Phosphordünger mit Hilfe strahlender P^{32} Isotope zeigte es sich, dass sich die Ergebnisse zufolge Isotopwechsel mit 10—20% Fehlerbelastung ergeben, ein Umstand der bei ähnlichen Untersuchungen zu berücksichtigen ist.

Mit P^{32} strahlenden Isotopen können auch die Verhältnisse der Phosphoraufnahme und Abgabe in den Wurzeln erfolgreich untersucht werden. Dieser Vorgang wird durch die Zellenatmung gelenkt. Die Untersuchungen haben weiters ergeben, dass die Pflanzenwurzeln den Phosphor fast ausschliesslich in Form von anorganischen Phosphationen ausscheiden.

Recent Advances in the Study of Labelled Phosphorus

G. MICHAEL

Department of Agricultural Chemistry, Friedrich Schiller
University, Jena, (DDR)

Summary

The author presents the results of experiments carried out in several fields with labelled phosphorus in the Department of Agricultural Chemistry, Jena. The aim of these studies was partly to elucidate the causes of the differences in the fertilizing power of granulated and powdered superphosphate. It was stated that the release of P_2O_5 from the granules i. e. the distance of diffusion from the granule depended on the soil type. For instance in shelly ground it was small; the roots reach but late the "islands" rich in phosphorus, these being unevenly distributed. Thus, fertilization has no satisfactory effect. The rate of release of phosphorus from the superphosphate granules and the diffusion rate was increased by applying additional substances to the soil, such as oxalate or complexon, which bind Ca-ions and in this way inhibit the formation of insoluble Ca-phosphates; this procedure, however, can not be used in the practice since it is too expensive, or rather because complexon is toxic to the plants.

The aim of further experiments was to determine the extent of utilization of various P-fertilizers in percentages. By means of very ingenious experimental designs it was demonstrated that isotope exchange i. e. exchange of labelled and nonlabelled phosphorus atoms under certain conditions might amount to a considerable extent (10 to 20 per cent), in consequence of which calculations based on measured activity values might involve considerable errors. In studies of a similar nature this source of error must be taken into consideration.

The third aim of the experiments was to study the nutrient uptake and excretion of roots. The results of various experiments clearly show that the processes in question are governed by the respiration of the roots. In case of inhibited respiration, for instance in CO_2 atmosphere or in the presence of poisons inhibiting the respiratory mechanism, a considerable amount (in some cases up to 12 per cent) of the phosphorus content of the plant is excreted by the roots into the surrounding solution. After the removal of inhibition when respiration is increased, they again take up the excreted P. It was also shown by these experiments that a specific anion exchange similar to that occurring on the surface of soil granules takes place on the root surface as well.

Phosphorus excretion through the roots takes place almost exclusively in the form of inorganic compounds i. e. phosphoric acid. The reuptake of the major portion of the excreted material is possible only in this way. Experimental data also support this view. Studies carried out in the third field also suggest the importance of root respiration. Only a favourable soil structure can assure a good aeration and water supply of roots and consequently lead to an undisturbed nutrient uptake and high yield.

Cations

- Fig. 1.* Migration rate of phosphorus from superphosphate granules (Gr) in different soil types. Ordinate : Percentage of P_2O_5 deriving from the fertilizer in various soil profiles. I. Soil formed by the decay of varicoloured sandstone. II. Acidic mineral soil. III. Soil formed by the decay of shelly ground. Below : Distance from the center of the granule in mm.
- Fig. 2.* Radioautograms of superphosphate granules. I—II—III. The same as in Fig 1.
- Fig. 3.* Effect of various substances applied in different quantities (g/150 g soil) on the migration of phosphoric acid from superphosphate granules on shelly ground. Ordinate : Percentage of P_2O_5 derived from the fertilizer in various soil profiles.
- Fig. 4.* Effect of various substances mixed to the superphosphate granules on the migration of phosphoric acid. Ordinate : Percentage of P_2O_5 derived from the fertilizer in various soil profiles. I—II—III. The same as in Fig. 1. a) control, b) granule with oxalate, c) granule with complexon.
- Fig. 5.* Scheme of phosphorus exchange in the soil. A) Soil without fertilization, B) Soil fertilized with superphosphate, a) before exchange, b) after exchange.
- Fig. 6.* Experiments in vegetation vessels for the determination of isotope exchange.
- Fig. 7.* Increase in activity of distilled water by plants previously grown in P^{32} containing nutrient solution. From 0 to 30 minutes.
- Fig. 8.* Change of activity during 70 hours of distilled water (1) and P-free nutrient solution (2), respectively.
- Fig. 9.* Effect of different salts on the excretion of P^{32} . Abscisse : hours.
- Fig. 10.* Excretion of P^{32} in distilled water and in P^{31} containing solution. Abscisse : hours.
- Fig. 11.* Excretion of P^{32} as affected by PO_4 and AsO_4 , respectively. Abscisse : days.
- Fig. 12.* Effect of respiratory inhibitors on the excretion of P^{32} during 0—35 hours.
- Fig. 13.* Effect of shading on the excretion of P^{32} expressed in the percentage values of the original activity. Abscisse : days. 1. In light, 2. in darkness, 3. in darkness + glucose, 4. CO_2 .
- Fig. 14.* Effect of CO_2 and N_2 on the excretion of P^{32} during 0—50 hours. (1) Normal aeration.
- Fig. 15.* Effect of respiration rate on the excretion of P^{32} expressed in percentage values of the original activity. (1) Normal aeration.
- Fig. 16.* Excretion rate of P^{32} expressed in percentage values of the total phosphorus content of plants during 0—50 hours. (1) Normal aeration.